

アルミニウムのノンフラックスろう付法

Non flax blazing method for Aluminum

野村 祐司*
NOMURA Yuji池田 明夏里**
IKEDA Akari

1. はじめに

アルミニウムを接合する方法は、主に溶接、圧接、ろう付、はんだ付及び機械的接合法などがある。特にエアコンに用いられるコンデンサ、エバポレータと呼ばれる自動車用熱交換器の様に、多くの接合点を有する熱交換器の接合にはろう付法が有効であるが、アルミニウムの表面には強固で緻密な酸化被膜が存在し、その酸化被膜の存在によりアルミニウムのろう付は非常に難しいとされていた。その後、酸化被膜を効果的に除去する方法としてフラックスが開発され、ろう付法が急速に発展し、現在では非腐食性フラックスを用いたろう付法（ノコロック法）、真空雰囲気を利用したろう付法（真空ろう付法）でろう付製品が製造されている。

ノコロック法は金属に対して腐食性を示さない非腐食性フラックスを用いるろう付法であるため、自動車用熱交換器に広く採用されている。しかし、フラックス中のフッ素とマグネシウムが反応することでフッ化マグネシウムを形成し、ろう付不良を引き起こすため、高強度材料であるマグネシウム添加のアルミニウム合金には使用できない欠点がある。

真空ろう付法は 10^{-3} Paの高真空雰囲気中にてろう付を行う方法であり、ろう材に添加されたマグネシウムが溶融時に水分や酸素と結合するGetter作用によってアルミニウム表面の強固な酸化被膜を破壊する。しかし、真空中では耐食性向上を目的にアルミニウム材料に添加した亜鉛が蒸発してしまうため、耐食性が必要とされる部品への適応が難しい欠点がある^{1,2)}。

よって、さまざまな用途に適用できるアルミニウムのろう付法は確立されておらず、ノンフラックスろう付法が求められている。

2. ろう材選定実験

まず初めにろう材の選定を行った。ろう材は JIS 規

* 開発・エンジニアリング本部 ガスアプセクター

** 開発・エンジニアリング本部 つくば研究所 SI 開発部

格の中から代表的な Al-Si 系合金（合金番号 4045）と Al-Mg 系合金（合金番号 4004）の2種類のものを選択し、ノンフラックスでろう付が可能かどうかを判断する目的でろう付実験を実施した。表1に使用したろう材の化学成分を記載する。

表1 ろう材の化学成分 [% (weight)]

合金番号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
4045	0.9~	0.8	0.30	0.05	0.05	0.01	0.02	残
	11.0	以下	以下	以下	以下	以下	以下	
4004	0.9~	0.8	0.25	0.10	1.0~	0.02	-	残
	10.5	以下	以下	以下	2.0	以下		

母材にはろう付性が良好な材料である純アルミニウムである 1050 を使用した。板厚 $t=1.5\text{mm}$ の 1050 板材を $40\text{mm} \times 20\text{mm}$ の大きさに裁断し、ゴミや油脂等の除去を目的にエタノールにて洗浄後、2枚を垂直に組み付け、垂直部に $\phi 1.2\text{mm}$ 、長さ 30mm のろう材を設置した。ろう付の条件は、管状炉を用い $10^\circ\text{C}/\text{min}$ の昇温速度で 600°C まで昇温し3分間保持後、室温まで放冷した。雰囲気ガスは窒素を使用した。

ろう付後サンプルを確認したところ、4045 ろう材はろう材表面の酸化被膜が残存していたが、4004 ろう材は酸化被膜の残存は無く、ろう材は溶融し母材の垂直部にまだ不十分ではあるがフィレットが形成されたため、ノンフラックスろう付には4004 ろう材が有効であることが判明した。マグネシウムはアルミニウムよりも酸化し易く、かつ蒸気圧の高い金属であるため、真空ろう付法ではろう付直前に蒸発させ、母材やろう材を覆っている酸化被膜を破壊すると言われている。窒素雰囲気でもマグネシウムの効果が確認されたため、さらなるろう付性向上の目的で、雰囲気ガス種、昇温速度を変えた時のろう付性を確認した。

3. 各条件における隙間充填実験

雰囲気ガス種、昇温速度を変えた時のろう付性を確認する目的で、雰囲気ガスに窒素、アルゴン、ヘリウムを使用した。昇温速度は $10^\circ\text{C}/\text{min}$ と一定の温度で

の昇温と、600℃で保持した炉内にろう付サンプルを投入する急速昇温法を用いて実験を実施した。また、よりろう付性を定量的に評価する目的で、隙間充填試験法で評価実験を実施した。隙間充填試験とは、軽金属溶接構造協会のLWS T 8801として規格化された方法であり、隙間へのろう材の流れ性を評価する実用に即した評価方法の一つである。サンプルに使用したろう材は、皮材がAl-Mg系合金(合金番号4004)と芯材Al-Mn系合金(合金番号3003)のクラッド材を使用し、母材は純アルミニウム系(合金番号1050)を使用した。それらの材料のゴミ、油脂及び酸化被膜の除去を目的にアルカリ処理と中和を目的に酸性処理を実施した。処理方法は、80℃の10%水酸化ナトリウムに1分間浸した後流水で注ぎ、さらに常温の30%硝酸に1分間浸した後流水で注ぎ乾燥させた。それらのサンプルを図1に示す隙間充填試験で規定された方法で作成した。クリアランスは母材の端から5mmの位置に0mm～2mmとした。クラッド材は20mm×40mm、板厚が0.89mmで4004ろう材の板厚は0.1mmのものを使用した。ろう付後はクラッド材表面のろう材部が溶融し隙間にろうが充填される。充填された長さである隙間充填長さが長ければ良好なろう付性と判断できる。

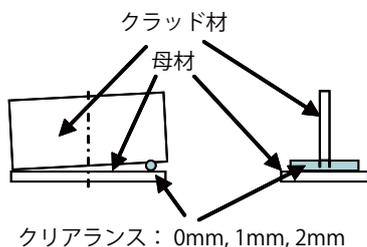


図1 ろう付サンプル

4. 各条件における隙間充填実験結果

昇温速度の違いによる各雰囲気での隙間充填長さを測定し、その結果を図2に示す。

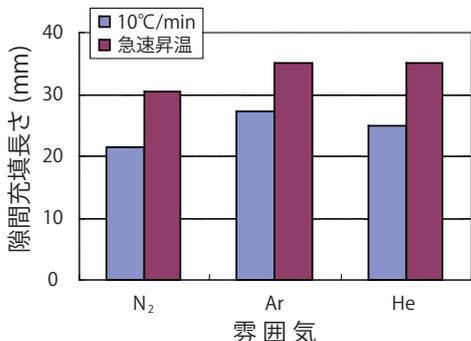


図2 各雰囲気の違いによる隙間充填長さ

昇温速度を変えてろう付実験を行ったところ、全て

の雰囲気において、急速昇温条件で隙間充填長さが長くなることが判明した。急速昇温での各雰囲気のサンプル昇温速度を測定したところ、窒素雰囲気ではおよそ103℃/min、アルゴン雰囲気ではおよそ85℃/min、ヘリウム雰囲気ではおよそ145℃/minであることが判明した。Al-Mg系合金は、ろう材の溶融温度帯が544℃～601℃であることを確認しており、酸化が最も促進するろう材溶融温度帯をすばやく通過することで、ろう付性が向上したのではないかと推測する。

次にクリアランスの幅を変えた時の各雰囲気における隙間充填長さを測定し、その結果を図3に示す。

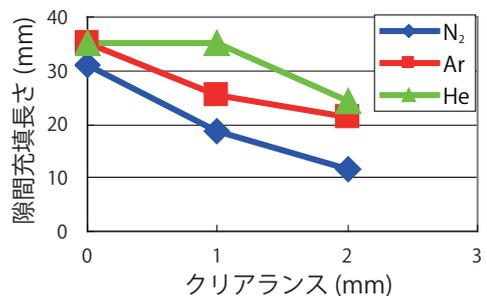


図3 クリアランスの違いによる隙間充填長さ

ろう付性は雰囲気の違いが顕著に現れ、He > Ar > N₂の順で良好な結果が得られた。窒素雰囲気ではろう材の溶融時にマグネシウムと窒素が反応しろう材の流れを阻害しているのではないかと考える。アルゴンやヘリウム雰囲気で窒素雰囲気よりも良好な結果が得られたのはこのためではないかと推測する。またアルゴンとヘリウム雰囲気の違いは、サンプルの昇温速度の違いではないかと推測し、ろう材溶融温度帯をすばやく通過させるヘリウム雰囲気は有効であると考えられる。

5. まとめ

ノンフラックスろう付法の手掛かり実験を実施したところ、Al-Mg系合金のろう材を用い、アルゴン及びヘリウム雰囲気でろう付を行うことで、ノンフラックスろう付ができる可能性が確認できた。特にヘリウムを使用するとうろう付性が向上するため、従来の真空ろう付けよりもワークの昇温が速く処理時間の短縮が期待できる。今後はスケールアップを実施し、自動車用熱交換器や電子部品のろう付等への適応に取り組んでいきたいと考える。

参考文献

- 1) 社団法人軽金属溶接構造協会. アルミニウムブレイジングハンドブック(改訂版), 2003, 330p.
- 2) 川瀬 寛. 溶接学会誌, 1998.8, Vol.67, No.7, p.14-17